

PUBLIKASI ILMIAH

**STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA *SOLIDIFIKASI* BESI COR
KELABUDALAM CETAKAN PERMANEN UNTUK *TAPPING* AKHIR**



Publikasi Tugas Akhir ini disusun sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan
Program Studi Strata Pada Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

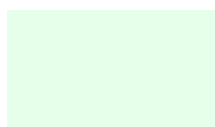
Disusun Oleh :

HERI SUPRIYANTO

NIM : D200040055

**Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

2016



HALAMAN PERSETUJUAN

**STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA *SOLIDIFIKASI*
BESI COR KELABU DALAM CETAKAN PERMANEN
UNTUK *TAPPING* AKHIR**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh :

**HERI SUPRIYANTO
D 200 040 055**

Telah diperiksa dan disetujui untuk di uji oleh :
Dosen Pembimbing



Ir. H.Masyrukan,MT

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA *SOLIDIFIKASI* BESI COR
KELABU DALAM CETAKAN PERMANEN UNTUK *TAPPING* AKHIR**

Oleh :

HERI SUPRIYANTO

D 200 040 055

Telah dipertahankan didepan dewan penguji Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari kamis 09 Juni 2016 dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. **Ir. H. Masyrukan, MT**
(Ketua Dewan Penguji)
2. **Amin Sulistianto, ST**
(Anggota 1 Dewan Penguji)
3. **Ir. Agus Hariyanto, ST, MT**
(Anggota 2 Dewan Penguji)

()

()

()



Dekan,

Ir. Sri Sunarjono. MT, Ph.D.

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir berjudul **“STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA *SOLIDIFIKASI* BESI COR KELABU DALAM CETAKAN PERMANEN UNTUK *TAPPING* AKHIR”** Yang saya ajukan kepada jurusan Teknik Mesin Fakultas Universitas Muhammadiyah Surakarta, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan dari penelitian atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di lingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya saya cantumkan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 26 Juli 2016

Yang menyatakan,



Heri Supriyanto

D200 040 055

**STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS
PADA *SOLIDIFIKASI* BESI COR KELABU DALAM CETAKAN
PERMANEN UNTUK *TAPPING* AKHIR**

Heri Supriyanto, Masyrukan.

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura

Email : aslipelatge@gmail.com

Abstraksi

Penelitian ini mengambil salah satu bagian dari pengecoran logam yaitu masalah peleburan yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari peleburan besi cor kelabu pada tapping akhir dengan tanur induksi frekuensi tinggi terhadap nilai kekerasan, struktur mikro dan komposisi kimianya.

Penelitian ini dilakukan terhadap spesimen uji besi cor kelabu dari cetakan permanen. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia dengan spektrometer, uji kekerasan dengan metode rockwell menggunakan hardness tester yang dikonversi ke metode hardness brinell, dan pengujian struktur mikro dengan menggunakan mikroskop metalografi.

Dari hasil pengujian terhadap spesimen didapatkan bahwa spesimen besi cor kelabu memiliki beberapa komposisi kimia yaitu: karbon (C):3,52%, silikon (Si):1,95%, mangan (Mn):0,470%, dan banyak lagi lainnya yang terkandung dalam spesimen uji. Pada uji kekerasan dilakukan pada 2 sisi, yaitu sisi bagian atas dan samping, masing-masing terdapat 5 titik pengujian. Disisi samping didapat harga kekerasan (97,24; 97,81;97,30; 98,79; 97,82). Didapat harga kekerasan rata-rata yaitu 97,79. Pada sisi atas didapat harga kekerasan (46,67; 45,90; 45,70; 46,53; 45,31) dan didapat nilai rata-rata 46,02.

**STUDI SIFAT FISIS DAN MEKANIS
PADA *SOLIDIFIKASI* BESI COR KELABU DALAM CETAKAN
PERMANEN UNTUK *TAPPING* AKHIR**

Heri Supriyanto, Masyrukan.

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura

Email : aslipelatge@gmail.com

ABSTRACT

This research took a part of metal casting, that was a matter of melting which aimed at knowing the influence of the melting of grey cast iron in the final tapping with a high frequency induction on the values of hardness, micro structure and chemical composition.

This research was conducted on the specimen of grey cast iron testing from a permanent mold. The testings conducted were a testing of chemical composition using spectrometer, a testing of hardness through the rockwell method using a hardness tester converted into the hardness brinell method, and the testing of micro structure using a metallography microscope.

From the results of the testing of specimen, it was obtained that the bahwa specimen of grey cast iron has several chemical composition, they were: carbon (C): 3.52%, silicon (Si): 1.95%, manganese (Mn): 0.470%, etc. The hardness testing was conducted on two sides: the upper-part testing and the side part testing, each had 5 testing points. In the side part, it was obtained the hardness values (97.24; 97.81; 97.30; 98.79; 97.82). it was obtained the average hardness value as much as 97.79. In the upper-part, it was obtained the hardness value (46.67; 45.90; 45.70; 46.53; 45.31) and the average value 46.02.

PENDAHULUAN

Ilmu bahan logam digolongkan dalam kelompok logam Ferro yaitu logam yang mengandung unsur besi dan non Ferro merupakan logam bukan besi. Proses pengolahan logam harus memperhatikan jenis logam dan sifatnya terutama pada proses pembentukan

Pengecoran dapat diartikan sebagai suatu proses manufaktur dengan menggunakan materi cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian-bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk. Pengecoran dapat berupa material logam cair, termoplastik, material yang terlarut air misalnya beton atau gips, dan material lain yang dapat menjadi cair atau pasta ketika dalam kondisi basah seperti tanah liat yang akan menjadi keras saat dalam kondisi kering.

Studi tentang *solidifikasi* besi cor mengapa penting untuk dipahami, ada beberapa jawaban adanya pertanyaan tersebut. *Solidifikasi* besi cor memungkinkan rekayasa mikro; *solidifikasi* besi cor menentukan hasilnya pengecoran; perlakuan panas

sangat jarang digunakan untuk besi cor; Singkatnya, pembekuan adalah pendorong utama sifat-sifat dari proses pengecoran. (Doru M. Stefanescu *The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA*2005)

PERUMUSAN MASALAH

Dari latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan yaitu sampai sejauh mana kekuatan material yang akan diuji dan bagaimana sifat fisis dan mekanis dari spesimen tersebut.

BATASAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah di atas, penelitian ini berkonsentrasi pada:

- a. Proses pembekuan besi cor dalam cetakan permanen berbahan besi cor nodular (ductile iron).
- b. Pembuatan spesimen besi cor kelabu.
- c. Pengujian sifat fisis & mekanik dari spesimen yang diuji.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh cetakan permanen pada solidifikasi besi cor kelabu untuk tapping akhir.
2. Mengetahui sifat fisis & mekanis besi cor kelabu dalam cetakan permanen pada *tapping* akhir.

MANFAAT PENELITIAN

1. Pengembangan Akademis
Penyusun dapat menerapkan ilmu yang telah dipelajari dan dapat memberi pengetahuan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan kepada pembaca atau ahli permesinandan konsumensebagai referensi pengembangan penelitian selanjutnya sehingga bermanfaat untuk memperkaya khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi.
2. Pengembangan Industri
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada dunia industri terutama industri mesin, pompa, alat-alat berat dan industri lain

yang menggunakan baja tuang sebagai material pendukungnya

TINJAUAN PUSTAKA

Stefanescu, Doru M. B., Jul 2007, "Modeling Of Cast Iron Solidification" Tata McGraw Hill, dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pembahasan tentang pengaruh pembekuan serpihan grafit mikro dan sifat mekanik dari ASTM A-48 besi cor kelabu menggunakan cetakan baja SKD 11, baja karbon sedang S45C dan cetakan baja hot -rolled SS400. Sifat mekanik ASTM struktural A-48 bahan besi cor kelabu sangat bergantung pada struktur mikro. Bagian metalografi diamati secara kuantitatif mengukur struktur mikro yang relevan parameter, sebagai lamellar grafit morfologi, ukuran sel eutektik dan konten inklusi. Hasil berkorelasi dengan yang diukur sifat mekanik : Konten grafit di kurangi meningkatkan kekuatan tarik. (Ganwarich Pluphrach, 2010).

Pembekuan paduan aluminium dengan penambahan besi dan silikon dipelajari untuk menyelidiki efek gabungan keduanya pada

pembentukan dan pengendapan intermetallics, khususnya fase Fe. Besi diendapkan terutama oleh β (CuFe) atau α (MnFe), atau keduanya tergantung dari kandungan besi dan silikon, serta laju pendinginan. Ditemukan bahwa dalam paduan memiliki hingga 0,3 persen berat Fe, pengendapan fase β (CuFe) dapat ditekan jika rasio limit Si / Fe = 1 dan laju pendinginan cukup tinggi. Mobilitas rendah dari fase β (CuFe) akan membatasi jumlah fase ini, terutama ketika atom besi memiliki kemungkinan untuk ditangkap oleh fase lain, dalam hal ini, fase α (MnFe). (ZHANG Wei' , YU Yan' , FANG Yuan', LI Jian-guo, 2011).

Pengaruh difusi merupakan pada kinerja sel bahan bakar oksida padat diselidiki oleh Janardhanana V. M., Deutschmann O, (2011). Sebuah pendekatan metodis untuk mengevaluasi koefisien difusi permukaan berbagai jenis terserap berdasarkan metode konservasi orde ikatan potensial (BOC-MP). Fluks difusi permukaan di gunakan untuk evaluasi perubahan temporal dalam pertanggungan permukaan. Analisis ini menunjukkan bahwa difusi

permukaan tidak menyebabkan kerugian konsentrasi dalam sel bahan bakar oksida padat. Analisis lebih lanjut dilakukan dan hasilnya disajikan untuk mendukung pentingnya antarmuka difusi pada perilaku pada perilaku tegangan pada membatasi arus.

Sebuah model fase *multi-grain* digunakan untuk mempelajari pembentukan garis ikatan bergelombang pada difusi fase *transient*. Hal ini diteliti oleh Jabbareh M.A. dan Assadi H (2009). Simulasi menunjukkan bahwa kondisi prima migrasi antarmuka searah dapat dicapai di bawah gradien suhu secara signifikan lebih kecil dari pada yang diprediksikan oleh model analitis. Keduanya juga menunjukkan bahwa ketidakstabilan morfologi dapat terbentuk tidak hanya selama padat, tetapi juga dalam keadaan cair.

Klasifikasi jenis material paduan sangat diperlukan dalam industri mesin, Kurylo P (2012), tujuan utama dari penelitian yang dilakukan adalah untuk melihat sifat-sifat teknologi dan mekanik perbedaan antara besi cor kelabu dengan struktur grafit lamelar dan besi cor bulat

dengan struktur grafit nodular.

LANDASAN TEORI

1. Pengertian dan jenis besi cor

a. Pengertian besi cor

Secara umum besi cor adalah besi yang mempunyai kandungan karbon antara 2,5%-4%, karena itu maka besi cor mempunyai kemampuan las yang rendah. Karbon dalam besi cor dapat berupa sementit (Fe_3C) atau biasa disebut dengan karbon bebas (Grafit).

b. Jenis-jenis besi cor

Besi cor terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

- Besi cor putih (*white cast iron*)

Dimana pada besi cor ini seluruh karbonnya berupa sementit sehingga mempunyai sifat sangat keras dan getas. Mikro strukturnya terdiri dari karbida yang menyebabkan berwarna putih

- Besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*)

Besi tuang jenis ini dibuat dari besi tuang putih

dengan melakukan heat treatment yang tujuannya menguraikan seluruh gumpalan grafit (Fe_3C) akan terurai menjadi matriks ferrit, perlite dan martensite. Mempunyai sifat yang mirip dengan baja.

- Besi cor kelabu (*grey cast iron*)

Jenis besi tuang ini sering dijumpai (sekitar 70% besi tuang ini berwarna abu-abu). Mempunyai grafit yang berbentuk flake. Sifat dari besi tuang ini kekuatan tariknya tidak begitu tinggi dan keuletanya rendah sekali.

- Besi cor nodular

Besi cor nodular dibuat dengan menambahkan sedikit unsur magnesium atau sium. Penambahan unsur ini menyebabkan bentuk grafit besi cor menjadi nodular, atau bulat atau sferoid. Perubahan bentuk struktur ini diikuti dengan perubahan keuletan. Keuletan besi cor berkisar 10-20 persen.

2. Pengertian solidifikasi besi cor kelabu

Solidifikasi besi cor kelabu ialah pemadatan besi cor kelabu, salah satu karakteristik yang dimiliki oleh besi cor kelabu adalah bidang patahannya. Patahan terjadi dengan rambatan yang melintasi satu serpih ke serpih yang lainnya. Karena sebagian besar permukaan patahan melintasi serpih-serpih grafit, maka permukaannya berwarna kelabu. Untuk itu disebut besi cor kelabu.

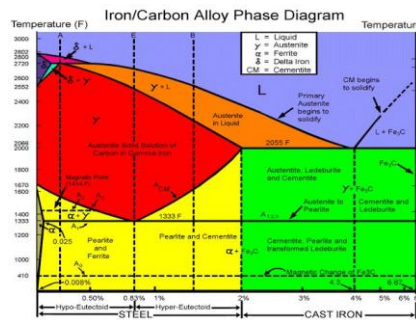
Besi cor kelabu memiliki kandungan karbon antara 2,7 sampai 4 persen dan unsure mangan sekitar 0,8 persen. Besi cor kelabu ini mengandung unsur silikon relative tinggi yaitu antara satu sampai tiga persen. Dengan silikon sebesar ini, besi cor akan membentuk grafit dengan mudah, sehingga fasa karbida Fe_3C tidak terbentuk. Grafit serpih besi cor ini terbentuk saat proses pembekuan.

Besi cor kelabu mempunyai sifat mampu las yang buruk, ketahanan korosi rendah, dan ketahanan aus yang juga rendah. Namun demikian besi cor ini memiliki sifat mampu mesin yang baik dan mampu cor yang sangat baik.

3. Pengertian struktur mikro

Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe₃C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon. Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (solution) hingga 0,05% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki *alpha ferrite* pada temperatur ruang. Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk *hard intermetallic stoichiometric compound* (Fe_3C) yang dikenal sebagai *cementite* atau *carbide*. Selain larutan padat *alpha ferrite* yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat

fase-fase penting lainnya, yaitu *delta-ferrite* dan *gamma austenite*. Logam Fe bersifat *polymorphism* yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur berbeda. Pada Fe murni, misalnya, *alpha-ferrite* akan berubah menjadi *gamma austenite* saat dipanaskan melewati temperature 910°C. Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400°C *gamma austenite* akan kembali berubah menjadi *delta-ferrite*. (Alpha dan Delta) Ferrite dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan *gamma austenite* memiliki struktur kristal FCC.



Gambar 1. Diagram alir Fe-Fe₃C

4. Perbedaan antara struktur Kristal BCC dan struktur Kristal FCC

Ada dua struktur dalam proses *solidifikasi* besi cor kelabu yaitu struktur Kristal BCC dan struktur Kristal FCC dimana keduanya terdapat perbedaan fase antara lain :

a. Ferrite

Ferrite adalah fase larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). *Ferrite* dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperatur ruang, yaitu *alpha-ferrite* atau pada temperatur tinggi, yaitu *delta-ferrite*. Secara umum fase ini bersifat lunak (*soft*), ulet (*ductile*), dan magnetik (*magnetic*) hingga temperatur tertentu, yaitu *T_{curie}*. Kelarutan karbon di dalam fase ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase *Austenite*. Pada temperatur ruang, kelarutan karbon di dalam *alpha-ferrite* hanyalah sekitar 0,05%. Berbagai jenis baja dan besi cor dibuat dengan

mengeksploitasi sifat-sifat *ferrite*. Baja lembaran berkadar karbon rendah dengan fase tunggal *ferrite* misalnya, banyak diproduksi untuk proses pembentukan logam lembaran. Dewasa ini bahkan telah dikembangkan baja berkadar karbon ultra rendah untuk karakteristik mampu bentuk yang lebih baik. Kenaikan kadar karbon secara umum akan meningkatkan sifat-sifat mekanik. Untuk paduan baja dengan fase tunggal *ferrite*, faktor lain yang berpengaruh signifikan terhadap sifat-sifat mekanik adalah ukuran butir.

b. Pearlite

Pearlite adalah suatu campuran lamellar dari *ferrite* dan *cementite*. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi *Austenite* melalui reaksi *eutectoid* pada keadaan setimbang, di mana lapisan *ferrite* dan *cementite* terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi

eutectoid. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras daripada *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fase *cementite* atau *carbide* dalam bentuk lamel-lamel.

4 Komposisi kimia

Pengujian komposisi kimia adalah suatu pengujian untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat pada logam dari suatu benda uji. Komposisi kimia dari logam sangat penting untuk menghasilkan sifat logam yang baik. *Optical Emission Spectrometer* (OES) adalah alat yang mampu menganalisa unsure - unsur logam induk dan campurannya dengan akurat, cepat dan mudah dioperasikan. Prinsip dasar dari diketahuinya kandungan unsure dan komposisinya pada alat ini adalah apabila suatu logam dikenakan energi listrik atau panas maka kondisi atom-atomnya akan menjadi tidak stabil. Elektron-elektron yang bergerak pada orbital atomnya akan melompat ke orbital yang lebih tinggi. Apabila energi yang dikenakan dihilangkan maka

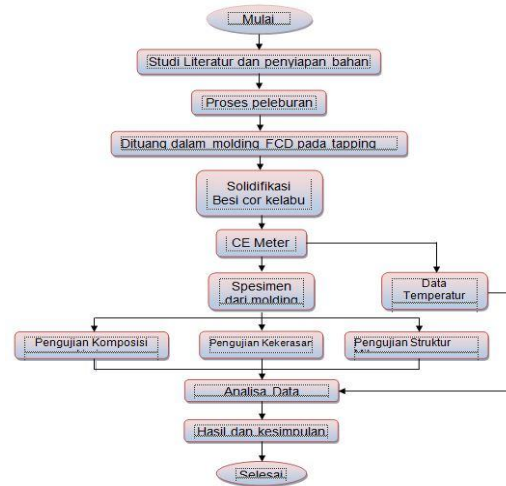
electron tersebut akan kembali ke orbit semula dan energi yang diterimanya akan dipancarkan kembali dalam bentuk sinar. Sinar yang terpancar memiliki panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis atom unsurnya, sedangkan intensitas sinar terpancar sebanding dengan kadar konsentrasi unsure. Hal ini berarti bahwa jenis suatu unsure dan kadarnya dapat diketahui melalui panjang gelombang dan intensitas sinar yang terpancar.

5 Kekerasan

Didefinisikan sebagai kekuatan bahan terhadap penetrasi pada permukaan. Dapat diperkirakan bahwa terdapat hubungan antara kekerasan dan kekuatan bahan. Bilangan kekerasan biasanya menurut alat uji yang digunakan untuk menguji kekerasan benda. Brinnel dinyatakan dalam HB, kekerasan Vickers dinyatakan dalam HV, dan kekerasan /rockwell dinyatakan dalam HRC untuk penetrator bola baja atau HRC untuk penetrator kerucut imtan.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Diagram alir penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian

2. Penyiapan bahan

a. Geram bekas bubut



Gambar4. Gerambekas bubut

b. Karbon



Gambar5. Karbon

3. Alat penelitian

- a. Tungku induksi



Gambar6. Tungku Induksi

- b. Cetakan (mold) fcd



Gambar7. Cetakan FCD

4. Alat uji CE meter



Gambar8. CE meter

5. Alat uji kekerasan



Gambar9. Rockwell Hardness tester

6. Alat uji foto mikro



Gambar10. Alat uji struktur mikro

7. Alat uji komposisi kimia



Gambar11. Alat uji komposisi kimia

HASIL PENELITIAN

1. Pengujian kekerasan cetakan FCD

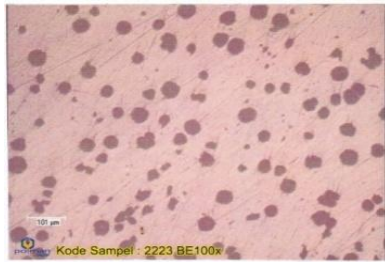
Jenis cetakan	kode	Kekerasan	Rata-rata
Besi Cor FCD	A	96,29	95,89
	B	95,10	
	C	95,75	
	D	95,49	
	E	96,84	

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan

Dari 5 kali pengujian diatas diambil nilai rata-rata yaitu 95,89. Maka dapat dipastikan bahwa cetakan yang digunakan merupakan besi cor nodular. Hal

ini diperkuat dengan adanya foto mikro dibawah.

2. Pengujian Struktur Mikro cetakan FCD



Gambar 12, Foto mikko cetakan FCD

3. Pengujian CE Meter



Gambar13 .Grafik hasil pengujian CE meter

4. Pengujian komposisi kimia

Dari pengujian komposisi kimia didapatkan :

	KODE	KOMPOSISI KIMIA (%)
Besi	Fe ²	93,46
Karbon	C	3,52
Silikon	Si	1,95
Mangan	Mn ¹	0,470
Fosfor	P	0,023

Belerang	S	0,035
kromium	Cr ¹	0,152
Molibden	Mo	0,000
Nikel	Ni ¹	0,042
Aluminium	Al	0,019
Boron	B	0,0010
Kobalt	Co	0,000
Tembaga	Cu	0,034
Magnesium	Mg	0,000
Niobium	Nb	0,002
Timbel	Pb	0,0024
Timah	Sn	0,009
Titanium	Ti	0,000
Vanadium	V	0,040
Wolfram	W	0,047

Tabel 2. Data pengujian komposisi kimia

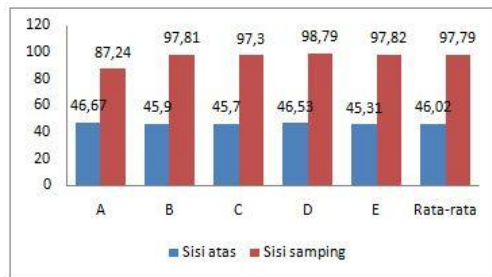
5. Pengujian kekerasan

SAMPEL	KEKERASAN (RHN)					Rata-rata	Standart Deviasi
Atas (HRC)	46,67	45,90	45,70	46,53	45,31	46,02	0,57
Sampling (HRB)	97,24	97,81	97,30	98,79	97,82	97,79	0,62

Tabel 3. Hasil pengujian RHN

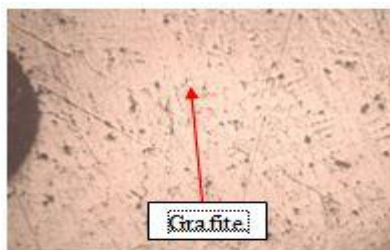
SAMPEL	KEKERASAN (BHN)					Rata-rata
Atas	441,14	432,50	430,32	439,58	425,86	433,12
Sampling	223,79	226,97	224,12	232,44	227,03	226,02

Tabel 4. Hasil pengujian RHN

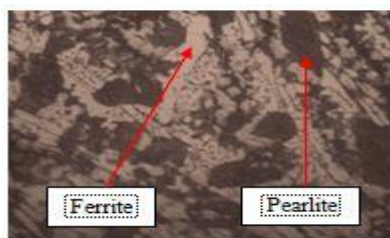


Grafik 1. Perbandingan HRB dan HRC

6. Pengujian struktur mikro

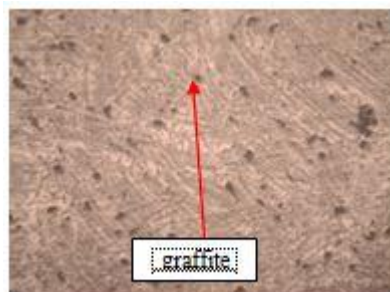


perbesaran 100X

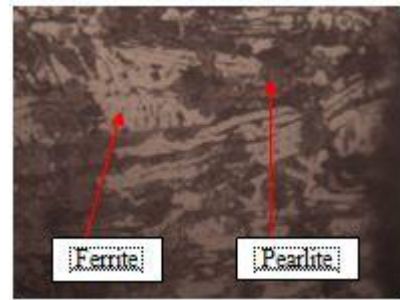


perbesaran 500X

Gambar 14 . Struktur mikro sisi atas



perbesaran 100X



perbesaran 500X

Gambar 15 . struktur mikro sisi samping

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa cetakan yang digunakan merupakan besi cor FCD, hal ini diketahui dari hasil pengujian struktur mikro yang menampilkan struktur berupa nodular atau bulat. Spesimen uji benar-benar merupakan besi cor kelabu. Hal ini dapat dibuktikan dengan data hasil pengujian komposisi kimia. Kandungan yang terdapat pada spesimen yaitu besi (Fe) 93,46%, karbon (C) 3,52%, Silikon (Si) 1,95%, Mangan (Mn) 0,470%, dan masih banyak lagi. Harga rata-rata kekerasan yang didapat pada spesimen melalui uji kekerasan yaitu 46,02 pada bagian atas, 97,79 pada bagian samping.

DAFTAR PUSTAKA

kinerja sel bahan bakar oksida
padat

Fani Adnan Setiawan, 2001, Pengaruh variasi penambahan nikel terhadap kekuatan lelah besi cor kelabu.

ZHANG Wei' , YU Yan' , FANG Yuan', LI Jian-guo, 2011. Pembekuan paduan aluminium dengan penambahan besi dan silikon

Stefanescu, Doru M. B., Jul 2007, “*Modeling Of Cast Iron Solidification*” Tata McGraw Hill, 7 West Patel Nagar, New Delhi 110 008

Jabbareh M.A. dan Assadi H (2009). Sebuah model fase *multi-grain* digunakan untuk mempelajari pembentukan garis ikatan bergelombang pada difusi fase *transient*'.

Janardhanana V. M., Deutschmannb O, (2011). Pengaruh difusi permukaan pada